

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

**Návrh modulu pro regulaci průtoku v  
rozsahu 10-120 l/h**

Design of Equipment for Control of Flow  
in Range 10-120 l/h

Student:

Lukáš Marek

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Tomáš Blejchař, Ph.D.

Ostrava 2018

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

## Zadání bakalářské práce

Student: **Lukáš Marek**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2302R007 Hydraulické a pneumatické stroje a zařízení  
Téma: **Návrh modulu pro regulaci průtoku v rozsahu 10-120 l/h**  
**Design of Equipment for Control of Flow in Range 10-120 l/h**  
Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

Navrhněte modul pro regulaci malých průtoků vodného roztoku močoviny s následujícími parametry: regulační rozsah  $Q=10-120$  l/h a pracovní tlak  $p=1$  MPa. Modul musí být koncipován jako přenosné zařízení, které je možné předřadit před hlavní testovací modul technologie SNCR, který není schopen regulovat tak malé průtoky. Vzhledem k tomu, že vodný roztok močoviny je korozivní látka, je tedy nutné, aby všechny prvky, tj. ventily, průtokoměr, potrubí atd., byly z korozivzdorného materiálu - plast či nerezová ocel např. 1.4407. Modul navrhněte ve dvou variantách 1) s použitím elektricky napájeného průtokoměru a případně regulačního ventilu a 2) jako čistě mechanické zařízení bez nutnosti napájení elektrickou energií.

Navrhněte veškeré prvky regulačního modulu tak, aby bylo možné zařízení realizovat.

Vypracujte základní výkresovou dokumentaci modulu (min. hydraulické schéma a sestavný výkres s kusovníkem).

Rozsah práce: 30-40 str. textu, výkresová dokumentace min. jeden výkres A3.

### Seznam doporučené odborné literatury:

1. PAVLOK, Bohuslav; KOPÁČEK, Jaroslav. *Tekutinové mechanismy*. VŠB-TU Ostrava, 1997. 151 s. ISBN 80-7078-238-2.
2. BRADA, Karel; BLÁHA, Jaroslav. *Čerpací technika*. České vysoké učení technické, 1991. 157 s. ISBN 80-01-00686-7.
3. HRADIL, František. *Potrubní systémy*. VŠB-TU Ostrava, 1994. 159 s. ISBN 80-7078-253-6.
4. MEDEK, Jaroslav. *Potrubní technika*. SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1973. 244 s.
5. NECKÁŘOVÁ, Jarmila; DOSKOČIL, Ladislav. *Potrubí a armatury*. České vysoké učení technické, 1978. 172 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Blejchař, Ph.D.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018

---

doc. Dr. Ing. Lumír Hružík  
vedoucí katedry



---

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu

V Ostravě dne 21. května 2018



Podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem si vědom, že na moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě. (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího bakalářské práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněná v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do její skutečné výše),
- beru na vědomí, že – podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů – že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 21. května 2018



Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce:

Lukáš Marek

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Bukovská 2, Protivanov

#### Anotace bakalářské práce

MAREK, L. *Návrh modulu pro regulaci průtoku v rozsahu 10-120 l/h: bakalářská práce* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2018, 45 s. Vedoucí práce Blejchař, T.

Bakalářská práce je zaměřena na návrh regulačního modulu pro regulaci průtoku vodného roztoku močoviny v rozmezí 10 – 120 l/h. Modul je navržen ve dvou variantách, v první, čistě mechanické bez nutnosti napájení elektřinou a ve druhé, která vyžaduje připojení do řídicího zařízení s napájením. V první části práce jsou popsány principy regulátorů průtoku a průtokoměrů. Pokračuje uvedením základních informací o vodném roztoku močoviny a o konstrukčních materiálech použitých v prvcích modulu. Všechny potenciální prvky vyhovujících parametrů jsou popsány v další části práce. Nakonec jsou vybrány finální elektrické a neelektrické prvky do příslušných modulů. Jsou vytvořena schémata zapojení a samostatné sestavné výkresy uvedené v příloze bakalářské práce.

#### Annotation of bachelor thesis

MAREK, L. *Design of Equipment for Control of Flow in Range 10-120 l/h: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB-Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydrodynamics and Hydraulic Equipment, 2018, 45 s. Thesis head: Blejchař, T.

Bachelor thesis deals with design equipment for control the flow of urea solution in range 10 – 120 l/h. The module is designed in two versions, first, mechanically operated without electrical supply and second requiring electrical control device. The preamble of bachelor thesis describe principles of flow controllers and flowmeters. It continues with basic information about urea solution and about construction materials of module components. In the second part are described potential components with suitable parameters. In last part are selected final, the most suitable components of both with and without electrical supply. It considers also diagrams and assembly drawings attached alone.

### **Poděkování**

Rád bych poděkoval Ing. Tomáši Blejchařovi, Ph.D. za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích a vypracování bakalářské práce.

## Obsah

1	Seznam použitých značek a symbolů.....	10
2	Úvod.....	12
3	Prvky pro řízení průtoku .....	13
3.1	Clony a trysky .....	13
3.2	Škrticí ventily.....	14
3.3	Regulátory průtoku .....	15
3.4	Proporcionální ventily.....	15
4	Průtokoměry .....	16
4.1	Objemové průtokoměry .....	16
4.2	Rychlostní průtokoměry .....	16
4.3	Vírový průtokoměr .....	17
4.4	Ultrazvukový průtokoměr.....	18
4.5	Žárový průtokoměr .....	18
4.6	Optický - laserový průtokoměr .....	18
4.7	Měření průtoku na měřicí cloně.....	18
5	Vodný roztok močoviny.....	19
6	Konstrukční materiály .....	20
7	Vhodné prvky.....	21
7.1	Ruční škrticí ventily.....	21
7.1.1	110VA .....	22
7.1.2	FVL 402 SS .....	23
7.1.3	Parker V2 2F-V2AN.....	24
7.2	Elektricky napájené ventily .....	25
7.2.1	21AP 1KC4V15.....	25
7.2.2	FSV15.....	27
7.2.3	SCB202A061V .....	28
7.3	Průtokoměry bez elektrického napájení.....	29
7.3.1	Tecfluid M21160-N.....	29
7.3.2	VA40 N19.19 .....	31
7.3.3	F VA TUBUX M30 7ME5812-3AB24-0DB0 .....	32



7.4	Elektrické průtokoměry .....	34
7.4.1	DUK-12 G4H L303 T .....	34
7.4.2	Kobold DPM-1530 G2 L303 .....	35
7.4.3	DFM-PVDF .....	37
7.5	Kulový ventil .....	38
7.5.1	009V .....	38
8	Návrh modulu bez elektrického připojení .....	39
8.1	Hydraulické schéma .....	39
8.2	Výpočet tlakové ztráty na škrticím ventilu .....	40
9	Návrh modulu s elektrickým připojením .....	40
9.1	Hydraulické schéma .....	41
9.2	Výpočet tlakové ztráty na proporcionálním ventilu .....	41
10	Závěr .....	42
11	Seznam použité literatury .....	43
12	Seznam příloh .....	45

# 1 Seznam použitých značek a symbolů

## Chemické značky a materiálové zkratky

CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	močovina
EPDM	etylen-propylen-dienový kaučuk
FPM	fluorový kaučuk
HCNO	kyselina fulminová
H <sub>2</sub> O	voda
N <sub>2</sub>	dusík
NBR	nitril-butadien kaučuk
NH <sub>3</sub>	amoniak
NO	oxid dusnatý
NO <sub>x</sub>	označení pro oxid dusný, dusnatý, dusičitý a dusičný
O <sub>2</sub>	kyslík
PEEK	polyetereterketon
PCTFE	polychlorotrifluoroethylene
PP	polypropylen
PTFE	polytetrafluoretylen
PVDF	polyvinylidenfluorid

## Další zkratky

AISI	American Iron and Steel Institute (americká norma)
DIN	Deutsches Institut für Normung (standart pro konektory)
DN	jmenovitá světlost
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
PLC	Programmable Logic Controller (Programovatelný logický automat)
PWM	Pulse Width Modulation (pulzně šířková modulace)
SCR	Selective catalytic reduction (selektivní katalitická. redukce)
SNCR	Selective non-catalytic reduction (sel. nekatalická. redukce)

## Veličiny a jednotky

Značka	název	jednotka
I	proud	[A]
Kv	jmenovitý průtok	[m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> ]
l	délka	[m]
p	tlak	[Pa]
p	tlak	[Pa]
Q	průtok	[m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]
T	teplota	[°C]
U	napětí	[V]
Δp	tlaková ztráta	[Pa]
ρ	hustota	[kg·m <sup>-3</sup> ]
η	dynamická viskozita	[N·s·m <sup>-2</sup> ]

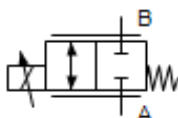
## Značky



- kulový ventil



- škrticí ventil



- proporcionální ventil



- průtokoměr

## 2 Úvod

Modul, který má být navržen, bude součástí většího zařízení pracujícího v oblasti zabývající se selektivní nekatalickou redukcí, zkráceně SNCR. SNCR je technologie významně se podílející na snižování emisí při spalování tuhých a kapalných paliv. Konkrétně likviduje již vzniklé oxidy dusíku a to tak, že při spalování je vstřikován reagent, jako je čpavek nebo vodný roztok močoviny. Tyto kapaliny jsou tedy v SNCR zařízeních velmi důležité a je třeba je za různým účelem rozvádět potrubím. V těchto potrubích je potřeba řídit velikost průtoku, což zajišťují regulační ventily.

Regulační modul bude pracovat v případě, že bude třeba regulovat malé průtoky, přesněji menší 120 l/h. Hlavní testovací modul vybaven regulačním ventilem o vyšší světlosti není schopen takový průtok regulovat, proto se před standardní regulační ventil předradí navrhovaný modul a standardní ventil se otevře. Tento modul bude tedy následně sloužit jako regulátor a měřič průtoku.

Jelikož je médiem korozivní látka, musí být kladen důraz na korozní odolnost materiálů, ze kterých jsou zkonstruovány všechny prvky obvodu, včetně potrubí. Důležité také je, že regulační prvky musí být schopny regulovat velmi malý průtok. Modul bude navržen ve dvou variantách, a to v čistě mechanické podobě s ručním ovládáním a ve variantě s elektrickým napájením.

### 3 Prvky pro řízení průtoku

Prvky pro řízení průtoku jsou užívány v hydraulických a pneumatických systémech. Jejich princip spočívá ve škrcení průtoku tekutiny, což je doprovázeno přeměnou části vstupní tlakové energie v energii tepelnou, která zvyšuje teplotu systému. Řídící prvek se tedy chová jako odpor, na kterém dochází vlivem tlakového spádu a průtoku  $Q$  k přeměně energie. Většina těchto řídicích prvků má nelineární průběh, který je charakterizovaný turbulentním průtokem. Škrcení může být prováděno buď konstantním odporem, kdy jsou používány clony a trysky nebo s proměnným odporem, který mají škrticí ventily. Odpor je realizován změnou průtočné plochy. [2]

Tlakové ztráty na škrticím místě závisí na rychlosti proudění, délce vedení, tvaru škrcení, viskozitě a hustotě pracovní kapaliny a na druhu proudění. [3]

#### 3.1 Clony a trysky

Clony a trysky jsou nejjednodušší prvky, vyznačující se konstantním odporem proti pohybu kapaliny. Plní z hlediska řízení různé, většinou pomocné funkce. S jejich pomocí řídíme velikost tlakového spádu na základních prvcích hydraulického obvodu, kdy využíváme jejich tlumicích vlastností, nebo jsou základem škrticích ventilů se stabilizací, pracujících s jen jednou hodnotou průtoku. Tryska má na rozdíl od clony delší škrticí otvor, tudíž je její průtok více závislý na viskozitě. Trysky se od clon rozlišují podle kritéria poměru délky a světlosti trysky, kdy je u clon tento poměr od 0,2 do 2 a u trysek je větší než 20. Trysky mohou být použity ve spojení s výkyvnou destičkou jako trykový zesilovač v servoventilech nebo s dalšími řídicími prvky. Využití clon je například při nastavování konstantního průtoku při daném konstantním tlakovém spádu, jako tlumení tlakových špiček, nebo při stanovení průtoku ve vedení na základě tlakového spádu na cejchovní cloně. Trysky jsou využívány jako řídící prvek, kdy paprsek kapaliny vede do prostředí s malým tlakem např. u trysek servoventilů nebo do otevřeného prostředí. Mohou být použity také jako tlumicí prvek v potrubí (laminární odpor), kdy je tryška zařazena např. před manometrem k tlumení tlakových kmitů a rázů, kvůli ochraně manometru před tlakovými rázy. [1], [4], [29]

## 3.2 Škrticí ventily

Škrticí ventily jsou prvky, které umožňují spojitě měnit odpor proti pohybu kapaliny změnou průtočného průřezu. Průtočné průřezy mohou být lineární nebo nelineární podle použitého konstrukčního prvku. Konstrukční prvky mohou být jehly, válcová šoupátka a kuželky s různými tvary. Všechny škrticí ventily jsou závislé na viskozitě. Požadavky na čistotu tekutiny nejsou velké kvůli poměrně velké průtočné ploše i při malém otevření. Jsou konstruovány k připojení do potrubí nebo k přimontování na připojovací desku nebo kostku. Nejčastěji se škrticí ventilu používají k řízení rychlosti hydromotoru a regulaci průtoku. [4]

### Jehlový ventil

Nejpoužívanější varianta škrticího ventilu je jehlový ventil. Jehly mohou mít ostrý, tupý, odstupňovaný nebo i jiný tvar. Jeho závislost na viskozitě je malá, jelikož má malou stykovou délku jehly s kapalinou. Nevýhodou tohoto ventilu je horší uvolnitelnost po jeho uzavření.

### Šoupátkový ventil s podélnou drážkou

Tento ventil má lepší uvolnitelnost při zachování výhod jehlového ventilu. Průtokový součinitel má stejné rozmezí hodnot jako jehlový ventil.

### Šoupátkový s radiální drážkou

Má větší závislost na viskozitě kvůli dlouhé stykové ploše s kapalinou s měnícím se průřezem. [1]

### Šoupátkový s překrýváním kruhového otvoru

Je ventil se speciálně seříznutou válcovou plochou eliminuje vliv teploty (změny viskozity) na průtok. Je vhodný pro malé průtoky od 0,2 do 50 dm<sup>3</sup>·m<sup>-1</sup>. Je také málo náchylný na nečistoty i při nepatrném otevření. Nazývá se také ventil s teplotní kompenzací. [4]

### 3.3 Regulátory průtoku

Průtok takovým ventilem není závislý na tlakovém spádu na ventilu a je konstantní. Se změnou  $\Delta p$  na ventilu se současně mění průtočná plocha  $S$  ventilu tak, aby průtok zůstal konstantní. Se zvýšením  $\Delta p$  se průtočná plocha  $S$  zmenší a naopak. Dělíme je na dvoucestné a třícestné regulátory průtoku, nebo je můžeme také nazývat škrticí ventily s dvoucestnou tlakovou váhou a s třícestnou tlakovou váhou.

#### Dvoucestný regulátor průtoku

Skládá se ze škrticího ventilu jakožto měřící clony s nastavitelným průřezem a tlakové váhy. Jelikož má tento ventil trvalo regulační odchylku, nelze dosáhnout přesné původní hodnoty průtoku. Chyba vyrovnávání průtoku je 2-5 %. Používají se k řízení pohybu hydromotoru stejně jako škrticí ventily, avšak pohyb hydromotoru je nezávislý na jeho zatížení. Používají se stejně jako škrticí ventily k řízení rychlosti hydromotoru, s tím rozdílem, že pohyb hydromotoru je nezávislý na zatížení. [4]

#### Třícestný regulátor průtoku

Na tlakové váze se rozděluje průtok z neregulačního hydrogenerátoru na průtok do hydromotoru a na zpětný průtok do nádrže. Průtok do hydromotoru vede přes škrticí ventil, který plní úlohu clony s proměnlivým průřezem. Slouží podobně jako dvoucestný regulátor k regulaci průtoku kapaliny do hydromotoru s proměnlivým zatížením, je však energeticky úspornější, což se projevuje hlavně při nezatíženém hydromotoru.

### 3.4 Proporcionální ventily

Slouží ke spojitému elektrickému řízení průtoku a taku kapaliny. Poloha regulačního prvku se mění spojitě v závislosti na hodnotě přijímaného signálu. Kuželka se ustavuje v poloze, kdy jsou síly působení pružiny a elektromagnetu v rovnováze. Řízení zprostředkovávají elektronické řídicí karty, nebo program v řídicím počítači. Nevýhodami jsou poměrně pomalá reakce (100 – 250 ms), ne zcela lineární I-p charakteristika a chyba až 9 % u provedení bez zpětné vazby a 1 – 1,15% v kombinaci se snímačem polohy. Máme buď proporcionální škrticí ventily nezávislé na viskozitě, nebo proporcionální ventily, které jsou vybaveny dvoucestným tlakovým regulátorem (dvoucestnou tlakovou vahou). Jsou přímo nebo nepřímo řízené. [4]

## 4 Průtokoměry

Průtokoměr je zařízení pro měření průtoku tekutin. Je uvedeno rozdělení podle principu měření a tyto principy jsou stručně popsány.

### 4.1 Objemové průtokoměry

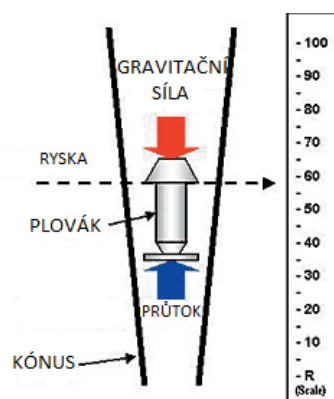
U těchto průtokoměrů dochází k otevírání a zavírání vnitřních průtokových prostorů, kdy dochází k otáčení nebo posuvu pracovních prvků, například ozubených kol, pístů nebo lopatek. Vyznačují se dobrou přesností. Příkladem je průtokoměr s lopatkovým kolem nebo s oválnými koly. K měření průtoku mohou být použity i nezatížené rotační hydromotory díky přímé závislosti mezi otáčkami a průtokem. Z geometrického objemu přístroje a otáček můžeme určit průtok průtokoměrem.

### 4.2 Rychlostní průtokoměry

Rychlostní průtokoměry využívají silový a tepelný účinek proudu kapaliny a také změnu odporu proti pohybu kapaliny v důsledku změny průřezu a délky. Měření je více závislé na viskozitě kapaliny. [1]

#### Plovákový průtokoměr - rotametr

Tvoří jej speciálně tvarovaný plovák umístěný v kuželovitě se rozšiřující trubce, který mění odpor proti proudící kapalině. Plovák se ustaví v poloze, kdy je jeho hmotnost v rovnováze s dynamickým účinkem proudu. Poloha plováku je odečítána buď ze stupnice, nebo lze snímat elektronicky.



Obr. 1 Princip rotametru [9]

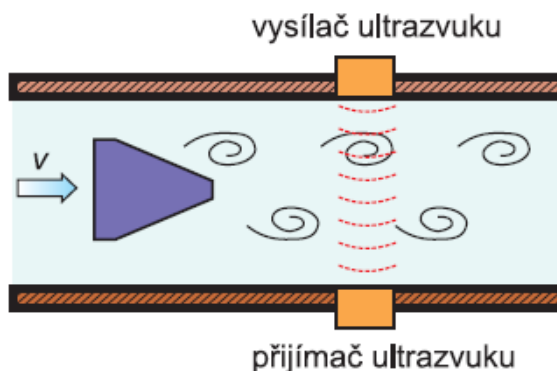


## Turbínový průtokoměr

Tvoří jej vrtulka s axiálními lopatkami umístěná v ose průtokoměru. Před a za ní jsou umístěny pevné usměrňující lopatky. Měření průtoku vychází ze snímání otáček vrtulky, které jsou úměrné průtoku. Snímání otáček je elektrické, na principu změny odporu, indukčnosti, kapacity a radioaktivity. Nejčastějším způsobem je indukční snímání impulsní metodou, kdy je snímačem permanentní magnet, který tvoří jádro cívky a je umístěn kolmo k ose otáčení vrtulky z feromagnetického materiálu. Magnetický tok procházející cívkou a listy vrtulky se mění s otáčením vrtulky, vzniklé napěťové impulsy jsou potom úměrné otáčkám. Turbínový průtokoměr se používá hlavně při měření statického průtoku, lze je však použít i k měření dynamického, tedy proměnlivého průtoku. [1]

## 4.3 Vírový průtokoměr

Pracuje na principu měření frekvence Kármánových vírů, které vznikají při obtékání tělesa vloženého kolmo na směr průtoku. Pro detekci vírů se využívá změny tlaku, nebo rychlosti. Rozhodující je frekvence tvorby vírů. Pro detekci frekvence se používají žhavené drátky, termistory, tenzometry, kapacitní a ultrazvukové snímače. [5]



Obr. 2 Princip vírového průtokoměru [8]

#### **4.4 Ultrazvukový průtokoměr**

Zpětnovazební ultrazvukové průtokoměry pracují na principu měření ultrazvukových vln, kdy je měřen časový rozdíl mezi dobou průletu ultrazvukového signálu ve směru a proti směru průtoku kapaliny. Čidla jsou umístěny na stěnách průtokoměru ve svařenci nebo odlitku. Přímě impulsní ultrazvukové průtokoměry měří čas, za který doletí ultrazvukový signál od vysílače k přijímači. Mohou být využity k měření vodivých, nevodivých i chemicky agresivních látek. [6]

#### **4.5 Žárový průtokoměr**

Čidlo vložené do protékající kapaliny je elektricky ohříváno a je měřen odvod tepla z tohoto čidla. Teplo čidlem odvedené je v rovnováze s teplem dodaným čidlu. Při měření zvolíme buď konstantní proud a snímáme rychlost, která je úměrná zmenšení odporu sondy nebo zvolíme konstantní teplotu čidla a rostoucí proud případně napětí protékající čidlem je úměrné velikosti rychlosti.

#### **4.6 Optický - laserový průtokoměr**

Je využíváno koherentního, monochromatického a přímkově polarizovaného světla z laseru. Pracuje na principu Dopplerova efektu. Paprsek laseru je rozptýlen protékající tekutinou. Rozptýlené světlo, které je frekvenčně posunuté v porovnání s dopadajícím světlem. Velikost posunutí frekvence udává informace o rychlosti proudící kapaliny. [5]

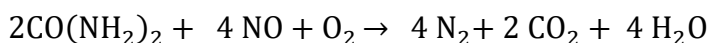
#### **4.7 Měření průtoku na měřicí cloně**

Měření průtoku je měřeno na základě tlakového spádu na cloně. Nevýhodou takovýchto snímačů je nelinearita mezi průtokem a tlakovým spádem, tomu se dá ovšem zamezit použitím korekčního členu. Nejjednodušším zařízením k měření je obrácená U trubice, existují však složitější zařízení dostupné na trhu. [1]

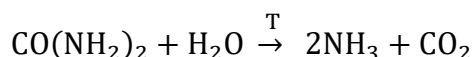
## 5 Vodný roztok močoviny

Tekutina, jejíž průtok je regulován je vodný roztok močoviny. Močovina neboli diamid kyseliny uhličité je neutrální organická látka, která je velmi dobře rozpustná ve vodě a zapáchá po amoniaku. Je často využívána k výrobě hnojiv nebo v chemickém průmyslu. Syntetická močovina se vyrábí z amoniaku a oxidu uhličitého ve formě granulí, prášku, krystalů nebo roztoků. Chemický vzorec je  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$

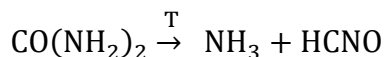
Používá se jako reagent pro selektivní katalytickou redukci (SCR) a pro selektivní nekatalytickou redukci (SNCR) v modifikaci  $\text{NO}_x$ OUT. Součástí zařízení pro SNCR je právě tento regulační blok.  $\text{NO}_x$ OUT je proces, kdy se při reakci redukčních činidel, jakými jsou močovina nebo čpavková voda odštěpuje čpavek spolu s oxidem dusnatým a oxidem dusičitým. Proces probíhá při teplotách 850 – 1100 °C.



Roztok je vstřikován do spalovací komory. Kapičky roztoku močoviny se vlivem vysoké teploty rychle zahřejí. Nejdříve se z roztoku vypaří všechna voda spolu s asi 10 % objemu močoviny a močovina se následně rozpadá podle chemické reakce:



Zbýlých 90 % čisté močoviny, která zůstane ve formě pevné látky se následně rozpadne podle rovnice:



Fyzikální vlastnosti vodného roztoku močoviny:

Složení:	67,5% $\text{H}_2\text{O}$ , 32,5% $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$
Hustota:	1087-1093 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
Bod tuhnutí:	-11,5°C
Dynamická viskozita při 25 °C:	0,0014 $\text{N}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-2}$

### Manipulace

Vodný roztok močoviny je netoxický a nehořlavý, není to nebezpečná, ani těkává látka, proto manipulace s ní a její skladování není složité. Nepatří mezi látky podléhající ADR a RID, nesmí však znečistit vodní zdroje ani povrchové vody. Při zahřívání se termicky přeměňuje na plyny. Rozkládá se ve vodě biodegradací za přítomnosti hub a bakterií. Způsobuje korozi. Uniklý roztok močoviny lze zakrýt savým materiálem jako je písek nebo hlína a nejlépe použít jako hnojivo. [9], [20]

## 6 Konstrukční materiály

Regulační obvod musí být zhotoven z korozi-vzdorných materiálů, jako jsou zejména nerezové oceli a plasty. Nerezové oceli se člení podle chemického složení na oceli feritické, martenzitické, austenitické a austeniticko-feritické.

Nejlepší odolností proti korozi se vyznačují austenitické oceli díky legovacím prvkům jako je chrom o obsahu 16-22 %, nikl o obsahu 8-40 %, molybden, měď, křemík a stabilizační prvek titan. Odolnost proti korozi zajišťuje omezení přítomnosti fosforu, antimonu a arzenu. Snadno odolávají solným a organickým roztokům, dobře se také čistí, nevýhodou je náchylnost ke korodování pod napětím. Vyznačují se dobrou tvárností a svařitelností. Obsahují minimálně chromu, 8-40 % niklu.

Martenzitické oceli obsahují 12-18% chromu. Mají nejvyšší pevnost, avšak na úkor snížené odolnosti proti korozi. Nejlepší antikorozi vlastnosti dosahují při obsahu uhlíku do 0,15 % při obsahu chromu 11,5 až 13,5 %. Se zvyšujícím se podílem uhlíku a chromu je náchylnost ke korozi vyšší. Tvrdost se často zvyšuje kalením. Jsou špatně svařitelné. Vhodné k výrobě nožů, čerpadel nebo parních turbín. Vznikají prudkým ochlazením austenitické oceli.

Feritická ocel neobsahuje žádný nikl a jen minimální množství uhlíku. Protikorozi vlastnosti jsou nejlepší při vysokém obsahu chromu a to až do podílu 30 %. Antikorozi vlastnosti jsou obecně lepší než u martenzitické oceli. Odolává působení slané vody a také korozi při napětí. Používá se ve slabých korozivních prostředích, např. v potravinářském průmyslu.

Austeniticko-feritická (duplexní) ocel také dobře odolává korozi způsobené slanou vodou a to i při mírně vyšších teplotách. Podle austenitických ocelí mají zvýšený podíl chromu a snížený podíl niklu. Korozi odolnost při napětí je lepší než u austenitických ocelí. Legováním molybdenem a dusíkem se zvýší odolnost proti mezikrystalové a šterbinové korozi, takže jsou použitelné i v prostředí některých kyselin a chloridů.

Nejpoužívanější oceli jako konstrukční materiál pro vnitřní části ventilů a průtokoměrů jsou austenitické, jsou z nich vyrobené jehly, sedla, jádra a to často i u variant ventilů, které jsou určeny pro neagresivní média a jejichž tělo je například mosazné.

Další konstrukční materiály souhrnně nazývané technopolymery jsou odolné vůči velké škále chemických roztoků. Mezi umělohmotnými materiály, ze kterých jsou často

konstruována těla ventilů a průtokoměrů se nejčastěji vyskytuje polyfenylensulfid. Nelegované oceli, slitiny a barevné kovy jako je mosaz a měď jsou nežádoucí, jelikož při kontaktu s médiem silně korodují. Mezi materiály použité k výrobě těsnění se hojně používá fluorkaučuková pryž, polytetrafluoretylen nebo pro agresivní látky stejně vhodný etylen-propylen-dienový kaučuk. Přehled ocelí, ze kterých jsou vyrobeny prvky obvodu jsou vypsány v tabulce 1. [10], [11]

W. Nr.	AISI	ČSN	EN
1.4305	303	17 243	X8CrNiS-18-9
1.4401	316	17 346	X2CrNiMo17-12-2
1.4404	316L	17 349	X2CrNiMo17-13-2
1.4405	-	-	GX4CrNiMo16-5-1
1.4408	-	-	GX5CrNiMo19-11-2
1.4571	316Ti	17 348	X6CrNiMoTi17-12-2

Tab. 1 Oceli, ze kterých jsou zkonstruovány vybrané prvky obvodu

## 7 Vhodné prvky

Regulační modul budou tvořit tři hlavní prvky. Bude to škrticí, v elektricky napájeném modulu proporcionální ventil, aby byla zajištěna samotná regulace průtoku, dále bude součástí průtokoměr pro přehled o aktuálním průtoku média modulem a v neposlední řadě kulový kohout, který zajistí otevírání a zavírání regulační větve. Je představen výčet variant těchto prvků nalezených v katalozích různých prodejců, které zajistí plnění požadavků pro regulační modul. Uvedené škrticí ventily a průtokoměry dokáží regulovat a měřit průtok vodného roztoku močoviny s dostatečnou přesností a splňují tedy tyto požadavky. Všechny vyhledané prvky jsou běžně dostupné na trhu. U každého zařízení jsou uvedeny základní technické informace a velikosti.

### 7.1 Ruční škrticí ventily

Základní prvek modulu, který bude řídit průtok kapaliny obvodem. Tyto škrticí ventily mají mechanické ovládání pomocí otočného kola, při otáčení směrem vpravo snižujeme průtok kapaliny, vlevo průtok zvyšujeme. S větším počtem potřebných otočení kolem do plného průtoku se zvyšuje přesnost ventilu.íí

### 7.1.1 110VA

Jehlový škrticí ventil od dodavatele STASTO Automation s.r.o. Výrobce je německá společnost Armaturen Arndt GmbH. Je vyráběn ve třech materiálových variantách. Pro použití v korozivní kapalině jako je vodný roztok močoviny je jediná vhodná varianta nerezová ocel 1.4571 s těsněním z PTFE. Ventil je vhodný k regulaci průtoku jak kapalin, tak plynů, které nepoškodí použité materiály. Připojovacím prvkem je trubkový závit podle ISO 228/1 o různých velikostech. S větším připojovacím závitem se zvětšuje i tělo ventilu a jmenovitý průtok.

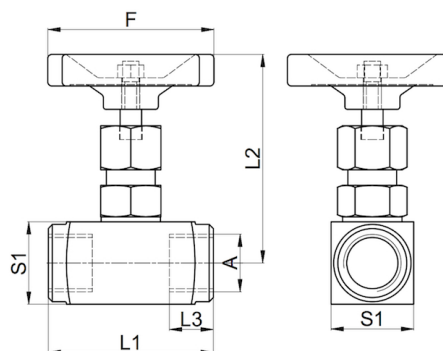
#### Technické parametry škrticího ventilu: [12]

- Jmenovitý průtok  $0,33 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ,
- Připojovací rozměr G1/8 ",
- teplota přepravovaného média od -60 do 230 °C,
- maximální tlak 40 MPa při teplotě od -60 do 50 °C



Obr. 3 Škrticí ventil 110VA [12]

#### Základní rozměry



Obr. 4 Rozměry škrticího ventilu 110VA [12]

Rozměr	A	DN	F	L1	L2	L3	S1
Hodnota [mm]	13,2	5	50	55	72	15	25

Tab. 2 Velikosti rozměrů škrticího ventilu 110VA

### 7.1.2 FVL 402 SS

Jehlový ventil od dodavatele Omega Engineering. Je určen k přesné regulaci malých průtoků kapalin a plynů. Existují dvě varianty a to standart a precision. Verze standart navržená pro deset otočení kolem do otevření plného průtoku a verze precision se šestnácti otočeními. Dále lze vybrat typ s přímým tvarem těla nebo s přípojovacími otvory svírajícími úhel 90°. Těla ventilu jsou konstruována z mosazi nebo nerezové oceli 1.4401. Těsnění je vyrobeno z FPM, ústí z PCTFE. Pro dané účely je nejvhodnější typ FVL-403-SS ve variantě standart s přímým nerezovým tělem.

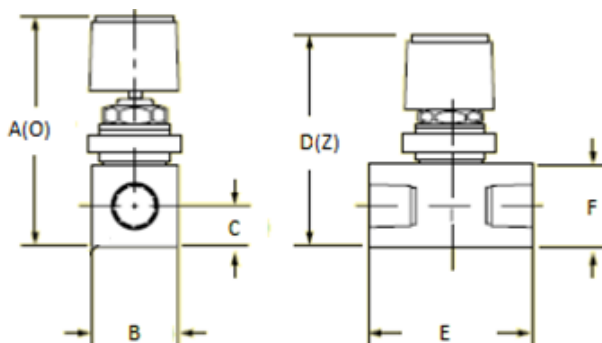
#### Technické parametry škrticího ventilu: [13]

- průtokový součinitel  $0,096 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ,
- přípojovací rozměr vnitřní 1/8 NPT ",
- teplota přepravovaného média až  $121^\circ \text{C}$ ,
- maximální tlak 1,72 MPa



Obr. 5 Škrticí ventil FVL-403 SS [13]

#### Základní rozměry



Obr. 6 Rozměry škrticího ventilu FVL-403-SS [13]

Rozměr	A	B	C	D	E	F
Hodnota [mm]	54	19,1	9,5	49,2	38	19,1

Tab. 3 Velikosti rozměrů ventilu

### 7.1.3 Parker V2 2F-V2AN

Škrticí ventil od dodavatele Parker Hannifin Sales CEE s.r.o. Určen k regulaci kapalin. Tento ventil se vyznačuje velmi dobrou těsností. V nabídce je mnoho variant tvarů a materiálů těla ventilu, tvarů vřeten a připojení. Ventil je dostupný v přímé podobě nebo v podobě, kdy vstup a výstup svírají pravý úhel. Vřeteno může být jehlové, tupé, nebo pokryto PCTFE. Dostupný materiál těla jsou nerezová ocel, mosaz, hliník, uhlíková ocel, nebo slitina mědi a niklu. Nejvhodnější je v provedení s pravým úhlem mezi vstupním a výstupním otvorem. Tělo ventilu včetně jehly je z oceli 1.4401, regulační kolo je nylonové a těsnění jsou vyrobena z PTFE. Vysoká tvrdost namáhaných částí zajišťuje vysoký počet cyklů a celkovou životnost ventilu.

#### Technické specifikace škrticího ventilu:

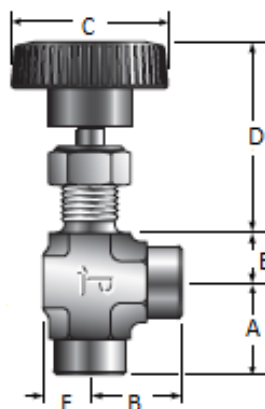
- průtokový součinitel  $0,15 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ,
- připojovací rozměr 1/8 NPT " s vnitřním závitem,
- teplota přepravovaného média od  $-54 \text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $200 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- maximální tlak 34,5 MPa [14]



Obr. 7 Škrticí ventil Parker série V [14]



## Základní rozměry



Obr. 8 Rozměry škrticího ventilu V2 2F-V2AN [14]

Rozměr	DN	A	B	C	D	E	F
Velikost [mm]	2,4	23,9	23,9	23,9	49,0-57,2	10,9	7,9

Tab. 4 Velikosti rozměrů škrticího ventilu V2 2F-V2AN

## 7.2 Elektricky napájené ventily

Výběr vhodných elektricky napájených ventilů od zahraničních výrobců. Pomocí těchto ventilů je možné průtokový regulátor ovládat dálkově za pomoci např. PC nebo PLC modulu. Nejrozšířenější mezi elektricky napájenými proporcionálními ventily jsou solenoidové elektromagnetické ventily. Jejich nevýhodou je malý maximální tlakový spád na ventilu a menší rozsah pracovních teplot.

### 7.2.1 21AP 1KC4V15

Solenoidový proporcionální ventil od italského výrobce ODE S.r.l. Ventil mění průtok změnou průtočného průřezu jako u škrticích ventilů, ale pohybu šoupátka je dosaženo silovým působením cívky. Analogový signál 0-10V nebo 4-20mA je veden do řídicí jednotky PECU5000, která analogový signál převede na PWM signál odpovídající hodnoty a ten je poslán do proporcionálního ventilu. Řídicí jednotka PECU5000 je nutná k fungování ventilu, pokud není k dispozici přímý zdroj PWM signálu. Konektor je typu ISO 4400, cívka o výkonu 12 W. Tělo ventilu je vyrobeno z technopolymeru PPS. Pružina, jádro a další vnitřní součásti jsou z nerezové oceli třídy 300 a třídy 400 podle AISI, která není v kontaktu

s kapalinou. Těsnění je z FPM, prstenec z PTFE. Průtokový součinitel je nižší než u mechanických škrticích ventilů, proto je třeba počítat s vyšší tlakovou ztrátou na ventilu. Regulovaným médiem může být kapalina, pára a plyn. [14]

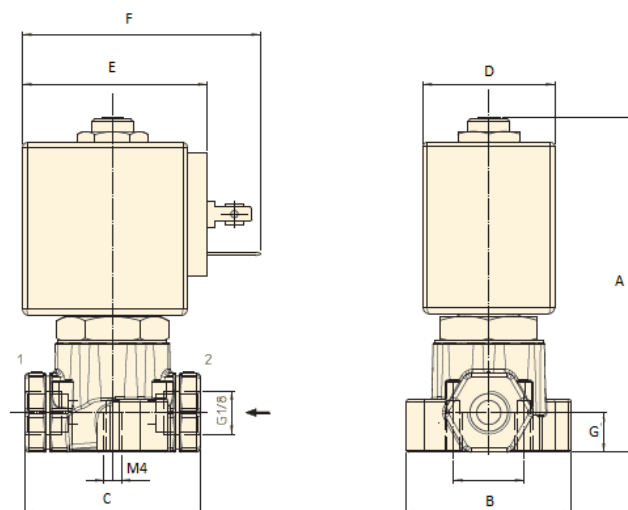
#### Technické specifikace proporcionálního ventilu: [7]

- průtokový součinitel  $0,066 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ,
- přípojovací rozměr G1/8 ",
- teplota přepravovaného média od  $-10 \text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $140 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- maximální diferenční tlak 1 MPa
- napájení 24 V DC



Obr. 9 Proporcionální ventil 21AP1KC4V15 [7]

#### Základní rozměry



Obr. 10 Rozměry proporcionálního ventilu 21AP1KC4V15 [7]

Rozměr	F	E	C	D	A	G	B
Velikost [mm]	60	48	40	36	76,5	9	37,5

Tab. 5 Velikosti rozměrů ventilu 21AP1KC4V15

### 7.2.2 FSV15

Solenoidový proporcionální ventil od dodavatele Omega Engineering ventil. Je navržen k regulaci nejrůznějších kapalin a plynů. Ventil je ovládán řídicí jednotkou, která přivádí signál podle hodnoty vstupního napětí nebo proudu. Řídicí jednotka s označením FSV-PW 110 Vac je součástí ventilu. Vstupní řídicí analogový signál je buď napětí 0-5V nebo proud 4-20 mA. Napájení je stejnosměrným napětím 24V pomocí 9 pinového DIN konektoru. Časová odezva ventilu je 500 ms. Celý ventil je vyroben z nerezových ocelí 1.4401 a 1.4405, těsnění z materiálu FPM.

#### Technické specifikace proporcionálního ventilu: [15]

- průtokový součinitel  $0,206 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ,
- přípojovací rozměr je kompresní šroubení 1/4 ",
- teplota přepravovaného média od  $-10 \text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $54 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- maximální tlak 3,44 MPa [14]
- napájení 24 V DC



Obr. 11 Proporcionální ventil FSV15 [15]

#### Základní rozměry

Délka [mm]	87,6
Výška [mm]	87,6
Šířka[mm]	25,4

Obr. 12 Tabulka s rozměry proporcionálního ventilu FSV15 [15]

### 7.2.3 SCB202A061V

Solenoidový ventil od společnosti ASCO řídící průtok proporcionálně v závislosti na řídicím signálu. Řízení ventilu je obdobné jako u 21AP. K ventilu musí být připojena proporcionální řídicí jednotka E908A001, která převádí analogový signál na PVM, nebo může PVM signál pocházet z jiného zařízení. Vstupním analogovým signálem do řídicího modulu může být napětí 0-10 V a proud v rozpětí 0-20 mA nebo 4-20 mA. Výkon cívky dosahuje 8 W. Napájecí napětí je stejnosměrné 24 V. Tělo ventilu zkonstruováno z oceli 1.4305, jádro a pružina jsou z nespécifikovaných nerezových ocelí. Těsnění je z FPM. Elektrický konektor je typu 4400 dle ISO. Volba typu ventilu s vyšším průtokovým součinitelem je omezena kvůli nedostatečné odolnosti ventilu vůči tlakovému spádu. Rozsah provozních teplot se pohybuje od -10°C do 90°C. [16]

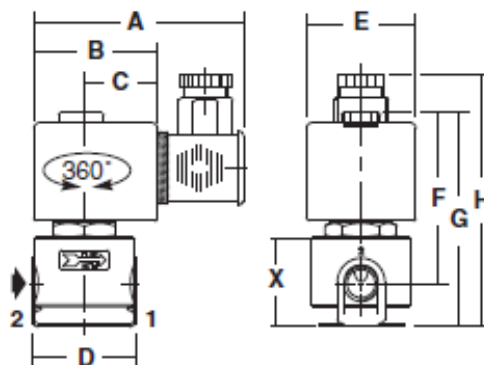
#### **Technické specifikace proporcionálního ventilu:**

- průtokový součinitel  $0,05 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ,
- připojovací rozměr G 1/4 ",
- teplota přepravovaného média od -10 °C do 54 °C
- maximální diferenční tlak 1,6 MPa [14]
- napájení 24 V DC



Obr. 13 SCB202A061V [16]

## Základní rozměry



Obr. 13 Rozměry proporcionálního ventilu SCB202A061V [16]

Rozměr	A	B	C	D	E	F	G	H	X
Velikost [mm]	80	50	30	42	45	60	79	95	37

Tab. 6 Velikostí rozměrů ventilu SCB202A061V

## 7.3 Průtokoměry bez elektrického napájení

Výčet nalezených průtokoměrů, ze kterých bude vybrán jeden, který se stane součástí regulačního modulu ve variantě bez elektrického napájení. Na trhu je mnoho mechanických průtokoměrů, drtivá většina z nich má však poměr nejnižší a nejvyšší měřitelné hodnoty 1:10. Vybrané varianty mají také takový poměr, ale jejich stupnice sahá i k nižším hodnotám, pro které sice nejsou průtokoměry oceňovány, ale dají se odečíst.

### 7.3.1 Tecfluid M21160-N

Pracuje na principu plováku pohybujícího se v kovovém zúžení. Plovák s magnetem uvnitř se ustaví v poloze, kdy je síla vyvolaná prouděním vody v rovnováze s tíhovou silou plováku. Magnetické pole plováku pohybuje s jehlou uvnitř těla trubice do pozice odpovídající průtoku. Pro dané médium je vhodnější zvolit variantu v provedení z nerezové oceli. Tělo, včetně plováku a ukazatele je vyrobeno z oceli 1.4404 se skleněným oknem ukazatele. Magnet v plováku je z hojně používané slitiny Al, Ni a Co. Nižší hodnoty než je spodní mez stupnice jsou měřitelné s horší přesností. Může být použit taktéž k měření průtoku plynů a par. Stupnice je v jednotkách l/h. Průtokoměr připojíme do potrubí ve vertikální poloze skrze přípojku 1/4 NPT. [17]

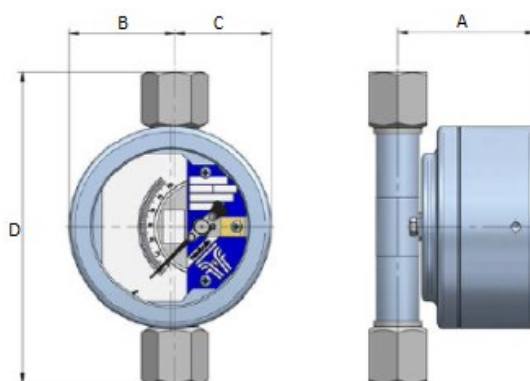
### Technické specifikace průtokoměru:

- rozsah průtoku  $0,016\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$  do  $0,16\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$  měří s přesností 4 %
- přípojovací rozměr 1/4 " NPT,
- teplota měřeného média od  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$
- maximální tlak 1,6 MPa



Obr. 14 Průtokoměr Tecfluid M21160-N [18]

### Základní rozměry



Obr. 15 Rozměry průtokoměru Tecfluid M21160-N [17]

Rozměr	A	B	C	D
Velikost [mm]	67	54	50	160

Obr. 7 Tabulka velikostí rozměrů průtokoměru Tecfluid M21160-N

### 7.3.2 VA40 N19.19

Plováчковý průtokoměr od dodavatele Krohne Messtechnik pro jednoduché konstrukce. Hodnota průtoku se odečítá ze stupnice, okamžitou hodnotu ukazuje ryska na plováku. Je nabízen v mnoha variantách měřitelných rozsahů průtoku. Nejvhodnější je podle velikosti průtoku varianta N19.19. Tělo a ústí jsou z oceli 1.4404, kónus je vyroben z borosilikátového skla, které má nízkou roztažnost, aby bylo docíleno malé chyby měření při hraničních teplotách. Uvnitř kónusu je kuželovitý plovák z materiálu PTFE a TFM. Použité materiály těsnění: NBR, EPDM a FPM. Průtokoměr musí být v potrubí připojen ve svislé poloze.

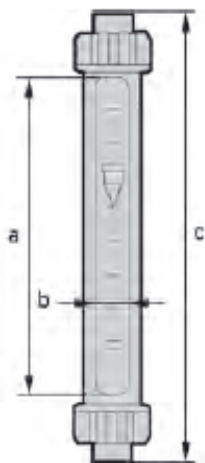
#### Technické specifikace průtokoměru: [20]

- rozsah průtoku  $0,014 - 0,14 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  měří s přesností  $\pm 1 \%$
- připojovací rozměr G 3/8 ",
- teplota měřeného média od  $-20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- maximální tlak 1 MPa



Obr. 16 Rotametr VA40 [19]

## Základní rozměry



Obr. 17 Rozměry průtokoměru VA40 N19.19 [20]

Rozměr	a	b	c
Velikost [mm]	239	26	375

Tab. 8 Velikosti rozměrů průtokoměru VA40 N19.19

### 7.3.3 F VA TUBUX M30 7ME5812-3AB24-0DB0

Rotametr od německého výrobce Mecon GMBH. Je určen k měření průtoku průhledných kapalin a plynů a to včetně široké škály agresivních látek. Hodnota průtoku se odečítá v závislosti polohy plováku a to ze stupnice na skleněném průhledu. Jako ryska plováku, který se pohybuje po vedení, slouží jeho nejširší část. Tělo s přípojovacími částmi jsou vyrobeny z oceli 1.4404, plovák a vedení plováku z oceli 1.4571. Průhled tubusu je skleněný a jako materiál těsnění byl zvolen FKM. Tak jako každý rotametr, musí být i tento připojen do potrubí ve svislé poloze. Po montáži do potrubí nesmí v těle průtokoměru působit mechanické napětí.

#### Technické specifikace průtokoměru: [22]

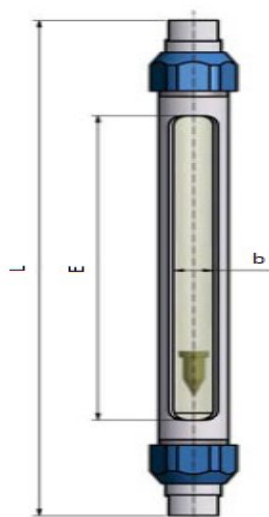
- rozsah průtoku  $0,0125 - 0,125 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  měří s přesností 1,6 %
- přípojovací rozměr G 1/4 ",
- teplota měřeného média od  $-10 \text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $150 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- maximální tlak 1 MPa





Obr. 18 F VA Tubux M30 [21]

### Základní rozměry



Obr. 19 Rozměry rotametru F VA Tubux M30 vel. 45 [22]

Rozměr	b	E	L
Velikost [mm]	19	235	375

Tab. 9 Velikosti rozměrů rotametru F VA Tubux M30 vel. 45

## 7.4 Elektrické průtokoměry

Vybrané tři nejvhodnější průtokoměry, které musejí být připojeny k elektrickému zdroji. Všechny jsou zkonstruovány tak, aby posílali naměřená data do vyhodnocovacího zařízení a měření tak probíhalo na dálku bez nutnosti přítomnosti osoby u průtokoměru.

### 7.4.1 DUK-12 G4H L303 T

Ultrazvukový průtokoměr od společnosti Kobold Messring GmbH, jehož princip je vysvětlen v kapitole 2.2. Je určen k měření průtoku kapalin o nízké viskozitě. Výhodou je nezávislost měření na viskozitě a teplotě kapaliny. Jako materiál těla je zvolena nerezová ocel 1.4408, těsnění jsou vyrobena z FPM a senzory z PEEK. Výstupem je analogový signál 0 – 20 mA. Připojení pomocí tří pinového konektoru M12x1.

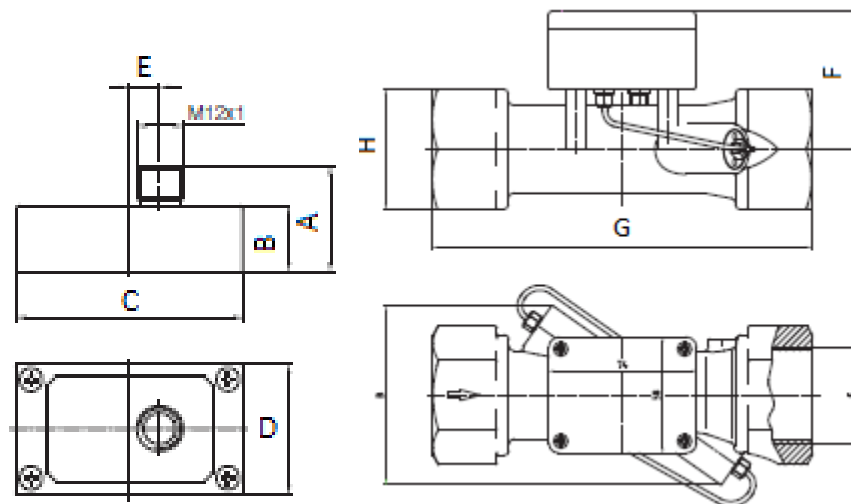
#### Technické specifikace průtokoměru: [24]

- rozsah průtoku  $0,0048 - 1,2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  měří s přesností  $\pm 1.5 \%$
- připojovací rozměr G 1/2 ",
- teplota měřeného média od  $-20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $90 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- maximální tlak 1,6 MPa
- napájecí napětí 24 V DC



Obr. 20 ultrazvukový průtokoměr DUK [23]

## Základní rozměry



Obr. 21 Tabulka rozměrů průtokoměru DUK G4H L303 T [24]

Rozměr	A	B	C	D	E	F	G	H
Velikost [mm]	28	17,5	60	34	8	57.5	114	30

Tab. 10 Velikosti rozměrů průtokoměru DUK G4H L303 T

### 7.4.2 Kobold DPM-1530 G2 L303

Kompaktní průtokoměr s lopatkovým kolem vhodný k měření průtoku kapalin s nízkou viskozitou. Protékající kapalina roztáčí lopátkové kolo, otáčky kola jsou snímány a převedeny na výstupní signál, ten je u této varianty analogový. Tělo s tryskou jsou vyrobeny z oceli 1.4404, převlečná matice z oceli 1.4305, lopátkové kolo z materiálu PP a těsnění je ve volitelné variantě FPM. Má dobrou odolnost proti korozivním kapalinám. K elektrickému připojení slouží 3 pinový konektor M12x1. Analogový výstup má rozsah 0-20 mA.

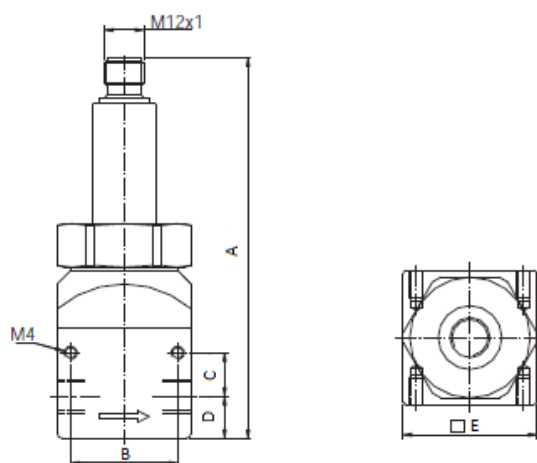
#### Technické specifikace průtokoměru: [22]

- rozsah průtoku  $0,05 - 3 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  s přesností  $\pm 1 \%$
- připojovací rozměr G 1/2 ",
- teplota měřeného média od  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$  do  $90 \text{ }^\circ\text{C}$ ,
- maximální tlak 1,6 MPa,
- napájecí napětí 24 V DC



Obr. 22 Průtokoměr s lopatkovým kolem DPM L [25]

### Základní rozměry



Obr. 23 Rozměry průtokoměru s lopatkovým kolem DPM L [26]

Rozměr	A	B	C	D	E
Velikost [mm]	113,5	32	13	12,5	40

Tab. 11 Velikosti rozměrů průtokoměru s lopatkovým kolem DOM L

### 7.4.3 DFM-PVDF

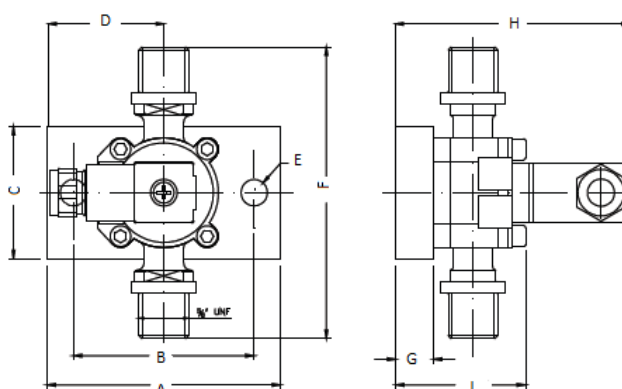
Turbínkový průtokoměr od společnosti B.I.O-TECH vhodný pro snímání průtoku agresivních látek. Princip turbínových průtokoměrů je blíže popsán v kapitole 2.2. Snímačem je Hallova sonda a výstupem je PNP signál. Tělo a vrtulka průtokoměru jsou vyrobeny z materiálu PVDF a těsnění je z FKM. Umělohmotný úchyt je odnímatelný. Elektrické připojení je pomocí 3 pinového konektoru. Přesnost měření je  $\pm 2 \%$  při viskozitě  $1 \text{ N}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-2}$

#### Technické specifikace průtokoměru:

- Rozsah průtoku  $0,025 - 2,5 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ ,
- připojovací rozměr  $5/8'' \text{ UNF}$ ,
- teplota měřeného média od  $-10^\circ\text{C}$  do  $60^\circ\text{C}$ ,
- maximální tlak  $1 \text{ MPa}$ ,
- napájecí napětí  $5 - 24 \text{ V DC}$  [27]



Obr. 24 Turbínový průtokoměr DFM-PVDF [28]



Obr. 25 Rozměry turbínového průtokoměru DFM-PVDF [27]

Rozměr	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Velikost [mm]	62	48	35	30,6	7	77	10	62	34,5

Tab. 12 Tabulka rozměrů turbínového průtokoměru DFM-PVD

## 7.5 Kulový ventil

Nerezové kulové ventily pro agresivní látky dostupné na trhu mají velmi podobné parametry, tudíž je uvedena pouze jedna varianta. Odmontování kulového ventilu není nadměrně složité, není tak třeba tříditelný kohout. Vyhledaný ventil, stejně jako k nim připojené potrubí má vyšší světlost než prvky v regulační větvi, protože průtok otevřeným ventilem je značně vyšší než v regulační části po zavření ventilu. Nebude tedy docházet k velkým tlakovým ztrátám při otevřeném kulovém ventilu.

### 7.5.1 009V

Dvoudílný kulový ventil pro agresivní kapaliny, plyny i sypké materiály. Těleso a koncovka z oceli 1.4408, koule a čep z oceli 1.4401, a všechny těsnění z PTFE. Vnější části vyrobeny z oceli 1.4301.

**Technické parametry:** [30]

- Teplota kapaliny od -20 °C do 180 °C,
- maximální tlak 6,3 MPa,
- připojení G1/2 "



Obr. 37 Kulový ventil 009V [30]

**Tabulka základních rozměrů**

délka [mm]	vnitřní průměr [mm]	délka páky [mm]	výška [mm]
65	15	130	60

Tab. 13 Rozměry kulového ventilu 009V

## 8 Návrh modulu bez elektrického připojení

### Škrticí ventil

Škrticí ventil volím FVL-402 SS z důvodu, že tento škrticí ventil má nejvyšší přesnost nastavení průtoku, a to díky vysokému počtu otočení kolem potřebných k maximálnímu otevření ventilu. Další výhodou oproti zbývajícím variantám je jmenovitý průtok, který má hodnotu nejvhodnější pro rozsah průtoku, jenž má protékat obvodem.

### Průtokoměr

Volím průtokoměr F VA TUBUX M30 pro přesnost měření a nejlepší rozsah měření.

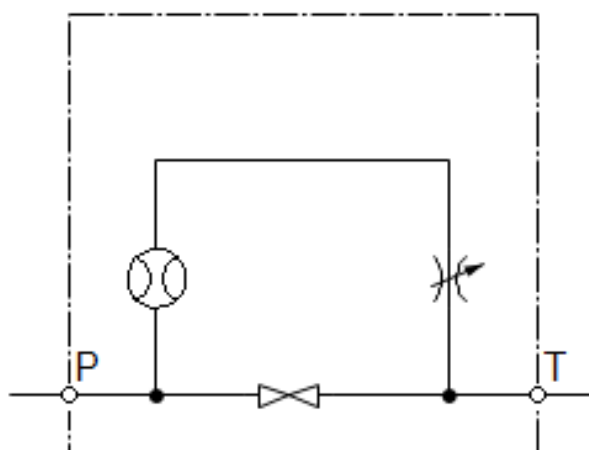
### Kulový ventil

Kulový ventil s označením 009V.

### Potrubí

Škrticí ventil a průtokoměr budou spojeny sériově nerezovým potrubím DN 6 se závitem G1/8, kulový ventil k nim bude připojen paralelně přes potrubí o větší světlosti DN 15, aby nedocházelo ke zbytečným tlakovým ztrátám, jelikož při otevřeném kulovém ventilu bude průtok modulem značně vyšší. Potrubí budou spojena armaturami, kvůli špatné svařitelnosti potrubí o malé světlosti.

### 8.1 Hydraulické schéma



Obr. 26 Schéma regulačního modulu bez napájení

## 8.2 Výpočet tlakové ztráty na škrticím ventilu

Je vypočtena tlaková ztráta na plně otevřeném škrticím ventilu, při průtoku  $0,12 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . Tlakové ztráty v potrubí a průtokoměru jsou zanedbatelné, proto nejsou uvedeny.

$$Q = 0,12 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

$$K_{v1} = 0,096 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

$$\rho = 1090 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

Tlakovou ztrátu (1.2) vyjádříme z rovnice pro jmenovitý průtok (1.1)

$$K_{v1} = \frac{1}{100} \cdot Q \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\Delta p_1}} \quad (1.1)$$

$$\Delta p_1 = \frac{Q^2 \cdot \rho}{(100 \cdot K_{v1})^2} = \frac{0,12^2 \cdot 1090}{(100 \cdot 0,096)^2} = 0,17 \text{ MPa} \quad (1.2)$$

## 9 Návrh modulu s elektrickým připojením

### Proporcionální ventil

Volím solenoidový ventil 21AP 1KC4V15, kvůli vhodné hodnotě jmenovitého průtoku, tento ventil je dále vyroben z oceli poměrně dobře odolávajícím korozivnímu působení a má dostatečnou hodnotu maximálního dovoleného diferenčního tlaku.

### Průtokoměr

Elektricky napájený průtokoměr volím ultrazvukový DUK-12 G4H L303 T.

### Kulový ventil

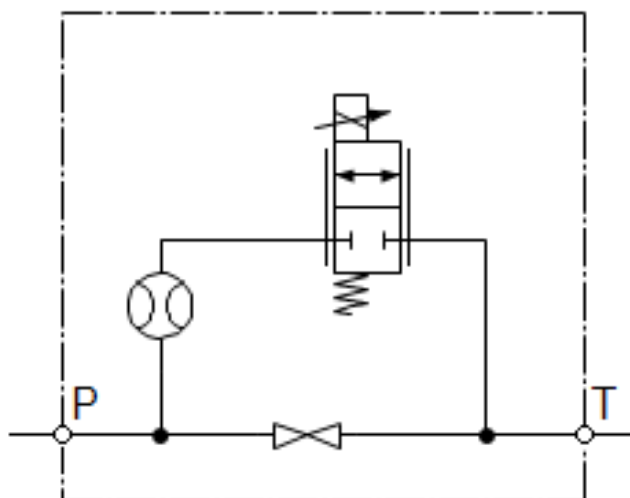
Model 009V, stejný jako u neelektrické varianty

### Potrubí

Potrubí bude zapojeno stejným způsobem jako u varianty bez elektrického napájení, bude nerezové a stejných světlostí. Průtokoměr bude připojen potrubím DN15, mezi průtokoměrem a proporcionálním ventilem bude použita redukce z DN 6 na DN 15.



## 9.1 Hydraulické schéma



Obr. 27 Schéma elektrického regulačního modulu

## 9.2 Výpočet tlakové ztráty na proporčním ventilu

Tlaková ztráta je počítána při plně otevřeném proporčním ventilu a při průtoku  $0,12 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ .

**Parametry:**

$$Q = 0,12 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

$$K_{v2} = 0,066 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

$$\rho = 1090 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

Postup výpočtu je stejný jako u výpočtu tlakové ztráty na škrticím ventilu.

$$K_{v2} = \frac{1}{100} \cdot Q \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\Delta p_2}} \quad (1.3)$$

$$\Delta p_2 = \frac{Q^2 \cdot \rho}{(100 \cdot K_v)^2} = \frac{0,12^2 \cdot 1090}{(100 \cdot 0,066)^2} = 0,36 \text{ MPa} \quad (1.4)$$

## 10 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout modul, který bude sloužit jako regulátor průtoku vodného roztoku močoviny v rozmezí od 10 – 120 l/h. Modul je podle zadání koncipován ve dvou řešeních odlišujících se ve způsobu ovládání. U první varianty je princip práce mechanický, u druhé elektrický. Pro obě řešení byly na českém i zahraničním trhu vyhledány nejvhodnější modely prvků v několika variantách od různých výrobců, které splňovali zadané kritéria. Hlavní podmínkou pro výběr byla mimo jiné dobrá odolnost proti korozivnímu prostředí. U prvků byly vypsány základní informace a názorně uvedeny jejich rozměry.

Z širších výběrů byly následně vybrány finální modely pro obě varianty modulů. Při výběru konečného modelu škrticího ventilu byl brán největší ohled na velikost jmenovitého průtoku a přesnost nastavení. Volba průtokoměru bez napájení se odvíjela hlavně od rozsahu měření a přesnosti měření. Při volbě prvků do elektricky napájené varianty byl kladen důraz i na shodnost potřebného napájení pro oba prvky. Proporcionální ventil byl navržen v takové velikosti, aby byl schopen pracovat i při maximálním diferenčním tlaku. Řízení proporcionálního ventilu může zajišťovat jakéhokoli zařízení schopné vysílat PWM signál předepsaného rozsahu. Průtokoměr do elektrické varianty je ultrazvukový, který dokáže měřit průtok přesně, bez ohledu na viskozitu kapaliny. Elektrické kabely obou prvků jsou svedeny do svorkovnice, kde jsou vodiče propojeny tak, aby se zařízení dalo připojit pomocí jednoho vývodního kabelu. Hlavní podstatou návrhu modulu s elektrickým napájením je možnost regulace a snímání průtoku bez nutnosti přítomnosti osoby u modulu. Do potrubí obou modulů byl paralelně zařazen i kulový kohout pro zajištění nasměrování průtoku buď přes regulační větev, nebo přímo, pro případ, že bude potřeba regulovat vyšší průtok, než regulační modul dokáže. Součástí návrhu je výpočet tlakových ztrát na regulačních prvcích a schéma zapojení obou variant modulu. Všechny prvky včetně potrubí jsou kvůli povaze média zkonstruovány z nerezových, většinou austenitických ocelí, nebo z umělohmotných korozivzdorných materiálů. Aby byla zajištěna ochrana prvků obvodu před mechanickým poškozením a dalo se s modulem dobře manipulovat, je potrubí s prvky umístěno do rámu svařeného z uzavřených ocelových profilů. Materiál rámu je nerezová ocel s dobrou svařitelností. Výkresová dokumentace obou výsledných modulů je přiložena v příloze bakalářské práce. Spojovací armatury se musí dobře utěsnit a dotáhnout, aby nedocházelo k únikům pracovní látky. Modul by měl být před odstávkou propláchnut vodou, aby močovina nekrystalizovala uvnitř armatur a nezpůsobila jejich poškození, to se týká především proporcionálního ventilu.

## 11 Seznam použité literatury

- [1] PIVOŇKA, Josef. *Tekutinové mechanismy*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1987.
- [2] KOPÁČEK, Jaroslav a Bohuslav PAVLOK. *Tekutinové mechanismy*. 4. vydání. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2016. ISBN 978-80-248-3930-1.
- [3] BAROŠKA, Ján. *Hydrostatické mechanizmy*. Žilina: Hydropneutech, 2012. ISBN 978-80-970897-2-6.
- [4] PAVLOK, Bohuslav. *Hydraulické prvky a systémy*. Díl 2, Řídicí prvky hydrostatických systémů, příslušenství hydrostatických obvodů. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1827-6.
- [5] JANALÍK, Jaroslav. *Měření tekutinových mechanismů*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 1995.
- [6] Ultrazvukové průtokoměry kapalin. *ELIS PLZEŇ a. s* [online]. 2010. Dostupné z: <http://www.elis.cz/cs/produkty/ultrazvukove-prutokomery-kapalin.html>
- [7] Proportional solenoid valve 2/2 way N.C. - Direct acting NSF Certified. *Tech Con Czech Republic, s.r.o.* [online]. 2016. Dostupné z: <http://www.tech-con.cz/wp-content/uploads/2017/09/21AP-Proportional-%E2%80%93-NSF-Certified-1.pdf>
- [8] Vírové průtokoměry – princip, vlastnosti a použití. *Časopis Automa časopis pro automatizační techniku* [online]. © 2016. Dostupné z: [http://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf\\_articles/53030.pdf](http://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/53030.pdf)
- [9] Rotameter-working-principle. *Polytechnic Hub - for Electronics, Electrical, Mechanical, Automobile & Textiles* [online]. © 2018. Dostupné z: <http://www.polytechnichub.com/working-variable-area-flow-meter/rotameter-working-principle/>
- [10] Druhy nerezové oceli a příklady jejího užití. *Spojovací materiál FASTENERS* [online]. © 2014. Dostupné z: <http://www.fasteners-cz.cz/druhy-nerezove-oceli-priklady-jejeho-uziti>
- [11] Nerez - korozivzdorná ocel, nerezové plechy. *ALFUN* [online]. Dostupné z: <http://www.alfun.cz/o-nerezi>
- [12] Nerezový jehlový ventil série 110VA. *STASTO Automation | pneumatika, průmyslové armatury a automatizace* [online]. ©2002-2018. Dostupné z: [https://www.stasto.eu/crmablage/oc/data/datenblaetter/110VA18\\_CS.pdf](https://www.stasto.eu/crmablage/oc/data/datenblaetter/110VA18_CS.pdf)

- [13] FVL-400. *OMEGA Engineering | Thermocouples, Pressure Transducers, Flow Meters, PID Controllers* [online]. ©2003-2018. Dostupné z: <https://www.omega.com/green/pdf/FVL400.pdf>
- [14] Needle Valves (V Series). *Accutech* [online]. 2010. Dostupné z: <http://www.accutech.net/wp-content/uploads/2010/03/Parker-Needle-Valve-V-Series-4110-V.pdf>
- [15] Electrically Controlled proportional valves. *OMEGA Engineering | Thermocouples, Pressure Transducers, Flow Meters, PID Controllers* [online]. ©2003-2018. Dostupné z: <https://www.omega.com/green/pdf/FSV10.pdf>
- [16] Proportional solenoid valve posiflow. *OMEGA Engineering | Thermocouples, Pressure Transducers, Flow Meters, PID Controllers* [online]. ©2017. Dostupné z: [https://www.apoelmos.cz/files/202\\_v110115gb.pdf](https://www.apoelmos.cz/files/202_v110115gb.pdf)
- [17] Metal tube flowmeters Series M21. *TECFLUID* [online]. ©2018. Dostupné z: [http://www.tecfluid.fr/sites/default/files/images/produits/pdf/m21\\_rev\\_2.gb\\_.pdf](http://www.tecfluid.fr/sites/default/files/images/produits/pdf/m21_rev_2.gb_.pdf)
- [18] Variable area flowmeters Series M21. *TECFLUID* [online]. ©2018. Dostupné z: <http://www.tecfluid.fr/en/variable-area-flowmeters-series-m21>
- [19] VA40. *LLC ITEU* [online]. ©2006-2018. Dostupné z: [http://iteu.com.ua/products/Krohne\\_VA\\_40](http://iteu.com.ua/products/Krohne_VA_40)
- [20] Karta bezpečnostných údajov spracovaná podľa nariadenia ES č. 1907/2006. *Tech Con Czech Republic, s.r.o.* [online]. 2007. Dostupné z: <http://www.jurki.sk/JurkiUserFiles/downloads/KBu%20Adblue.pdf>
- [21] F VA Tubux M30 rotameter flow meter. *ICenta Controls Ltd* [online]. ©2018. Dostupné z: <https://www.icenta.co.uk/f-va-tubux-rotameter.html>
- [22] Variable area meter F VA TUBUX M30. *ICenta Controls Ltd* [online]. ©2018. Dostupné z: <https://www.icenta.co.uk/uploads/1/1/4/7/114709647/fva-tubux-m30-rotameter-flow-meter-ic.pdf>
- [23] Kobold DUK Flow Meter. *Kodiak Controls* [online]. ©2017. Dostupné z: <https://kodiakcontrols.com/flow-instruments/flow-meters/kobold-duk/>
- [24] Compact Ultrasonic Flowmeter. *Kodiak Controls* [online]. ©2017. Dostupné z: [https://kodiakcontrols.com/wp-content/uploads/2016/10/kobold\\_duk\\_meter.pdf](https://kodiakcontrols.com/wp-content/uploads/2016/10/kobold_duk_meter.pdf)
- [25] Průtokoměr s lopatkovým kolem pro minimální množství. *KOBOLD Czech Republic* [online]. 2017. Dostupné z: <https://www.kobold.com/uploads/files/dpm-cs-prutok.pdf>

- [26] Pelton wheel flow sensor. *Kodiak Controls* [online]. 2014. Dostupné z:  
[https://kodiakcontrols.com/wp-content/uploads/2016/10/kobold\\_dpm\\_meter.pdf](https://kodiakcontrols.com/wp-content/uploads/2016/10/kobold_dpm_meter.pdf)
- [27] Flow sensor chemical. *Conrad* [online]. 2016. Dostupné z:  
[http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/150000-174999/150216-da-01-m1-DFM\\_PVDF\\_CHEMIE\\_ANSCHLUSS\\_5\\_8UNF\\_de\\_en.pdf](http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/150000-174999/150216-da-01-m1-DFM_PVDF_CHEMIE_ANSCHLUSS_5_8UNF_de_en.pdf)
- [28] B.I.O-TECH e.K. DFM PVDF-Chemie 5/8UNF PVDF Chemical Flowmeter 0.025 - 2.5 l/min. *Conrad* [online]. ©2018. Dostupné z:  
<https://www.conrad.com/ce/en/product/150216/BIO-TECH-eK-DFM-PVDF-Chemie-58UNF-PVDF-Chemical-Flowmeter-0025-25-lmin>
- [29] HRADIL, František. *Potrubní systémy*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 1994. ISBN 80-7078-253-6.
- [30] Kulové ventily II. *ARMAT spol. s r.o.* [online]. ©1994-2013. Dostupné z:  
<http://www.armat.cz/pdf/nerezovy-kulovy-ventil-dvoudilny-zavitovy.pdf>

## 12 Seznam příloh

Příloha 1 - Sestavný výkres modulu bez napájení

Příloha 2 - Sestavný výkres elektricky napájeného modulu